



AHDINJÄRJESTELMÄN MUUTOSTYÖT OTTOMOOTTORISSA

Antti Sillanpää

Opinnäytetyö
Toukokuu 2014
Auto- ja kuljetustekniikka
Auto- ja korjaamotekniikka

TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Auto- ja kuljetustekniikka
Auto- ja korjaamotekniikka

ANTTI SILLANPÄÄ:

Ahdinjärjestelmän muutostyöt ottomoottorissa

Opinnäytetyö 40 sivua, joista liitteitä 0 sivua
Toukokuu 2014

Tutkimuksessa käsiteltiin ahdinjärjestelmän muutoksia ottomoottorissa. Työn tarkoituksena oli muuttaa Toyotan 3.0l 2JZ-GTE kaksoisahdettu moottori yhdelle pakokaasuahdimelle. Työ aloitettiin suorittamalla laskennat uudelle pakokaasuahdimelle. Laskennoissa pyrittiin siihen, että uudella ahtimella saataisiin tehonlisäystä alkuperäiseen nähden. Samalla suoritettiin mitoitus uusia polttoainekomponentteille. Mitoitusten jälkeen suoritettiin käytännön osuus, jossa asennettiin uusi ahdin sekä muut komponentit. Lopuksi suoritettiin tehonmittaus, josta nähtiin vaihdetuista komponenteista saatu hyöty. Työssä paneuduttiin ahtamisen teoriaan virityskäytön näkökulmasta. Opinnäytetyön tekijä asetti itselleen tavoitteen, että oppisi tulkitsemaan moottorinohjausta ja saisi tietoutta nelitahtimoottorin virittämisestä.

Mitoituksista saatujen tulosten perusteella valittiin autoon sopiva ahdin. Ahtimen ja muiden komponenttien vaihdon jälkeen suoritettiin tehonmittaus. Tehonmittauksesta tulokseksi saatiin 386,6 kW eli 525 hevosvoimaa. Kyseisen moottorin alkuperäinen tehokertoimen on 276 hevosvoimaa.

Tehonmittauksesta voidaan päätellä tehon nousseen lähes kaksinkertaiseksi alkuperäisestä. Tehonlisäystä saatiin 47,5% alkuperäiseen nähden. Työtä voidaankin pitää onnistuneena tehonmittauksen näkökulmasta. Kustannusarvio ylittyi, mutta ainoastaan sellaisten komponenttien osalta, joita ei voitu suunnitelmassa ottaa huomioon.

Työ oli kokonaisuudessaan erittäin mielenkiintoinen. Työssä käsiteltiin pakokaasuahdimen teoriaa, mutta päästiin myös tekemään käytännön osuus. Kehitystyö jatkuu projektin jälkeenkin, tavoitteena väännön lisääminen matalille kierroksille.

Asiasanat: pakokaasuahdin, ahdinjärjestelmä, ottomoottori.

ABSTRACT

Tampereen ammattikorkeakoulu
Tampere University of Applied Sciences
Degree programme in Automotive and Transport Engineering
Option of Automotive and Garage Engineering

ANTTI SILLANPÄÄ:

Turbocharger adjustment work in an internal combustion engine

Bachelor's thesis 40 pages, appendices 0 pages
May 2014

The thesis discusses turbocharger adjustment work in an internal combustion engine. The purpose was to convert Toyota 3.0l 2JZ-GTE double-charged engine to a single-charged one. As a starting point, calculations were made for a new turbocharger. The goal of the calculations was to achieve a better power output compared to the original output with the new turbocharger. Simultaneously, calculations were conducted for the new fuel components. After this phase, a practical part was conducted. During this a new turbocharger and other new components were installed. Finally, the power output was measured in order to evaluate the power output gain. In the thesis the theory of the turbocharging was analyzed from the tuning's point of view.

The new turbocharger was selected based on the measurement results. The power output was measured after the installation of the new turbocharger and other components. The result was 386,6 kW, 525 hp. The power output of the original engine is 276 hp.

It can be concluded from the power measurement, that the power output almost doubled from the original. The work succeeded from the power measurement's point of view. The budget was exceeded, but only regarding components which could not be taken into account during the planning phase.

Overall, work with this thesis was extremely interesting. The thesis discusses the theory of turbocharging. In addition, a practical part was conducted. The development will continue even after the project with the goal of increasing low rpm torque.

Key words: turbocharger, turbocharger system, internal combustion engine.

SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	6
2	TEORIA	7
2.1	Teoriaa seossuhteesta.....	7
2.2	Pakokaasuahtimen toiminta	8
2.3	Polttoaineen syöttö.....	13
2.3.1	Polttoainepumppu	13
2.3.2	Polttoainejärjestelmän loput komponentit.....	14
3	TYÖN SUUNNITTELU	15
3.1	Moottorin lähtötilanne	15
3.2	Tavoitteet	16
3.3	Tehojen nostaminen	17
3.4	Ahtimen valinta.....	17
3.5	Polttoainepuolen osien valinta	21
3.6	Moottorinohjauksen valinta	24
3.7	Muut osat	24
3.8	Kustannusarvio	24
4	TYÖN SUORITTAMINEN	26
4.1	Ahdinpuolen purkaminen	26
4.2	Polttoainepuolen uusiminen.....	31
4.3	Vauhtipyörän ja kytkimen uusiminen.....	33
4.4	Uuden ahtimen asennus	36
4.5	Viimeistelytyöt.....	36
5	TULOSTEN KÄSITTELY	37
6	POHDINTA.....	39
	LÄHTEET	40

ERITYISSANASTO

Ahdin	Turbolla tai yleisimmin ahtimella tarkoitetaan joko pakokaasuahdinta, tai mekaanisesti ohjattua kompressoria. Mekaaninen ahdin saa käyttövoimansa esimerkiksi kampiakselilta, kun taas pakokaasuahdin käyttää hyödykseen moottorin pakokaasuja.
Kartta	Kartalla tarkoitetaan moottorinohjauksen karttaa, jota säätämällä saadaan sekä auton toiminta optimoitua eri kierrosalueille että ehkäistyä vahinkoja.
Suutin	Suutin on lyhenne polttoainesuuttimesta. Suuttimia käytetään polttoaineen suihkuttamiseen palotilaan.
Moottorinohjaus/ Ecu	Moottorinohjauksella tarkoitetaan sähkökomponenttia, jolla pystytään ohjaamaan moottorin toimintaa.
Hukkaportti	Hukkaportteja on sekä ulkoisia, että sisäisiä. Hukkaportin tehtävä on rajoittaa ahtopaine halutun suuruiseksi.
Ahtopaine	Ahtimella moottoriin ylipaineistettu ilma.
Polttoaineseos	Moottoriin syötetyn polttoaineen ja ilman seos.
Down pipe	Pakoputken ensimmäinen osa, joka lähtee ahtimelta auton alle. Englannin kielinen nimi on laajalti käytössä, koska hyvää suomennosta ei ole.
Välijäähdytin	Ahdetun ilman viilennykseen käytetty kenno.
Stökiömetrinen seos	Stökiömetrisellä seoksella tarkoitetaan täydellisen palamisen seosta.
Suutintukki	Osa, johon polttoainesuuttimet kiinnitetään.
Bensapumppu	Pumppuja voi olla tankin sisäisiä tai ulkoisia. Niitä käytetään polttoaineen siirtoon auton polttoainetankista suutintukille ja edelleen suuttimille.
Seosmittari	Ajoneuvoon jälkeensä asennettava mittari, jolla nähdään reaaliajassa moottorin polttoaineen ja ilman seossuhde.

1 JOHDANTO

Opinnäytetyön aiheena on ahdinjärjestelmän muutokset ottomoottorissa. Autona toimii Toyota Supra 1993. Moottorina 2JZ-GTE, kaksoisahdettu kuusisylinterinen rivimoottori. Kyseinen auto on ollut tämän työn tekijän unelma pienestä asti. 2010 vuoden syksyllä unelmat toteutuivat, kun sopiva yksilö saapui myyntiin. Auto olikin vain kolme tuntia myynnissä, kunnes kaupat oli tehty.

Supra oli ostohetkellä lähes samassa kunnossa kuin tehtaalta lähtiessä. Ensimmäisenä talvena auto käytiin läpi perushuoltojen osalta. Samalla paranneltiin auton ulkonäköä korisarjalla ja vanteilla. Isompi välijäähdytin vaihtui samalla auton keulalle. Alkuperäinen välijäähdytin sijaitsee auton vasemmassa etukulmassa, ja olikin jo vaihdon tarpeessa. Välijäähdyttimeksi valikoitui edellisestä ajoneuvosta hyväksi todettu 600x300x33mm- kokoinen kenno. Kesällä auto saatiin kasattua ja maalattiin keltaisella värillä. Loppuvuosi menikin tekemättä suurempia muutoksia. Talvella 2011 - 2012 autoon ei tehty muutoksia. 2012 syksyllä supraan vaihdettiin pakoputkisto, joka auttaa myös tämän opinnäytetyön valmistumisessa.

Tarkoituksena on rakentaa autosta talven aikana kestävä ja saada samalla tehonlisäystä. Tehdas lupaa moottorista 278 hevosvoiman tehot. Autoa ei ole vielä käytetty tehonmittauksessa, mutta tehtaan lukemat ovat todenmukaiset. Opinnäytetyön tavoitteeksi asetettiin auton valmistuminen ajallaan sekä toimintavarmuuden saavuttaminen. Tieto, että Toyotan 2JZ-sarjan moottoreista on saatu mitattua yli 1500 hevosvoimankin tehoja, antaa opinnäytetyölle mielenkiintoisen lähtökohdan.

2 TEORIA

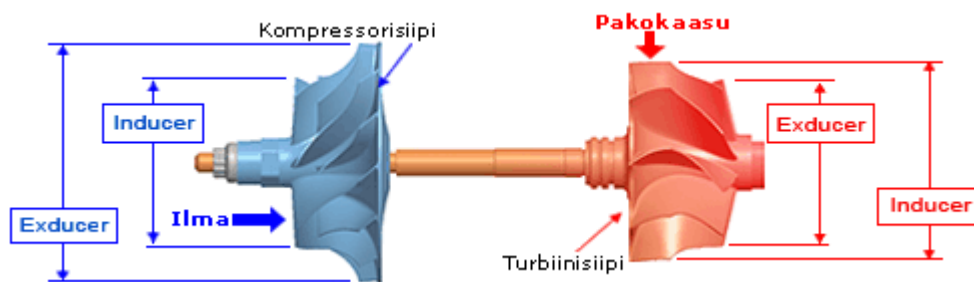
2.1 Teoriaa seossuhteesta

Moottorin muuttaminen tehtaan antamista arvoista vaatii suunnittelua ja teoriaa, jotta vältetään moottorin rikkoutuminen. Ottomoottorin tärkeimpänä tekijänä, kestävyys kannalta, on ilma-polttonesteseos. Seoksen on oltava, tyhjäkäynnillä ja tasaisella kaasulla ajettaessa, lähellä täydellisen palamisen seosta. Täydellisessä palamisessa tarvitaan 1kg polttoainetta 14,7kg ilmaa kohti. Tätä suhdetta kutsutaan stökiometriseksi ilma-polttoaineseokseksi. Seossuhteen ollessa alle 14,7 on seos rikas, ja seoksen ollessa yli 14,7 on seos laiha. Rikkaalla seoksella tarkoitetaan, että seoksessa on ilma-alimäärä ja laihaalla seoksella tarkoitetaan, että seoksessa on ilma ylimäärä. Etenkin laihaa seosta pyritään välttämään, koska silloin palotilassa lämpötilat pääsevät nousemaan suuriksi ja vaarana on moottorin rikkoontuminen. Auto on vähäpäästöinen, joten täydellinen palaminen on tarpeen, jotta ei vahingoitettaisi auton katalysaattoria. (Autoteknillinen taskukirja 2003, 498)

Täydellistä palamista ei voi tapahtua kaikilla kierrosalueilla, koska täyskaasulla on rikastettava seosta reilusti. Näin moottorista saadaan enemmän tehoa ja vältetään polttonesteseoksen meneminen liian laihalle. Moottorin seossuhteeseen käytetään lisäksi ilmakerrointa, kutsutaan myös lambda-arvoksi. Lambda-arvolla $\lambda = 1$ tarkoitetaan seossuhdetta 14,7. Lambda-arvon ollessa alle yhden on seos rikkaalla ja yli yhden on se laihaalla. Seos säädetäänkin yleensä sen mukaan, mitä haetaan. Jos haetaan mahdollisimman suurta tehoa, kuten tässä tapauksessa, on lambda-arvo alle yhden. Yleensä 0,85-0,95. Jos taas haluttaisiin polttoainesäästöjä tehon kustannuksella, vietäisiin lambda-arvo yli yhden (1,1-1,2) jolloin saataisiin polttoaineenkulutusta pienennettyä. (Autoteknillinen taskukirja 2003, 498)

2.2 Pakokaasuahtimen toiminta

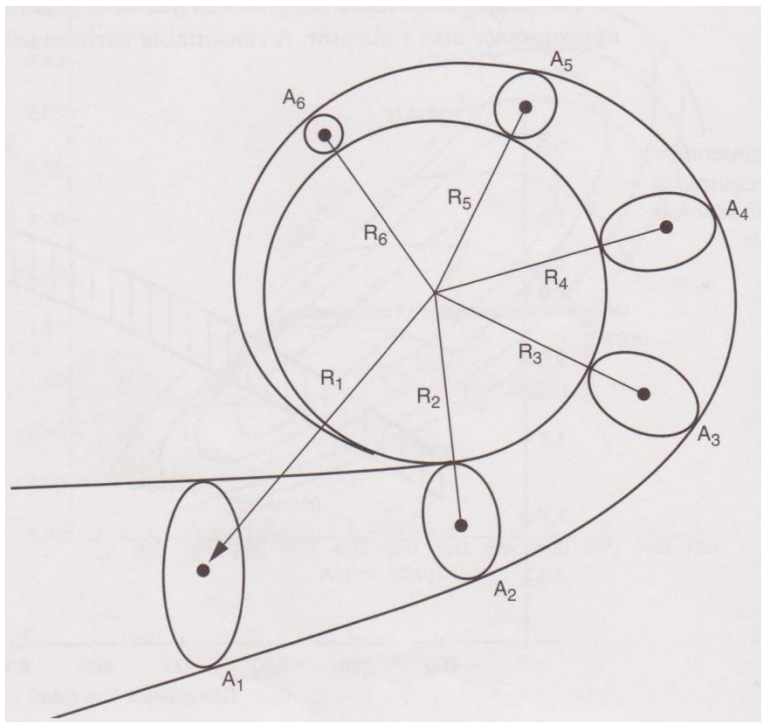
Pakokaasuahdin saa käyttövoimansa moottorin palamistuotteina syntyvistä pakokaasuista. Pakokaasuahdin on kiinnitetty pakosarjaan, joka on kiinni moottorin sylinterikannessa. Usein pakokaasuahdin sijaitsee auton konetilassa. Pakokaasuahtimessa on selkeät komponentit. Ahdin koostuu kompressoripuolesta, jossa on kompressorisiipi. Kompressorisiiven tehtävänä on ahtaa ilmanpuhdistimen kautta tuleva ilma moottoriin. Kompressorisiipi saa käyttövoimansa turbiinisiiveltä, jota pakokaasut pyörittävät. Kompressorisiipi sekä turbiinisiipi sijaitsevat samalla akselilla. Pakokaasuahtimen suurimpia ongelmia on hidas heräävyys. Jotta kompressoripuoli pystyisi ahtamaan ilmaa koneeseen, on koneesta tuleva riittävästi pakokaasua pihalle. Kuvasta 1 näkyvät pakokaasuahtimen poikkileikkaus, sekä siipien sijainnit. (Bel 1997, 32; Kosunen: Turboahdin 2012)



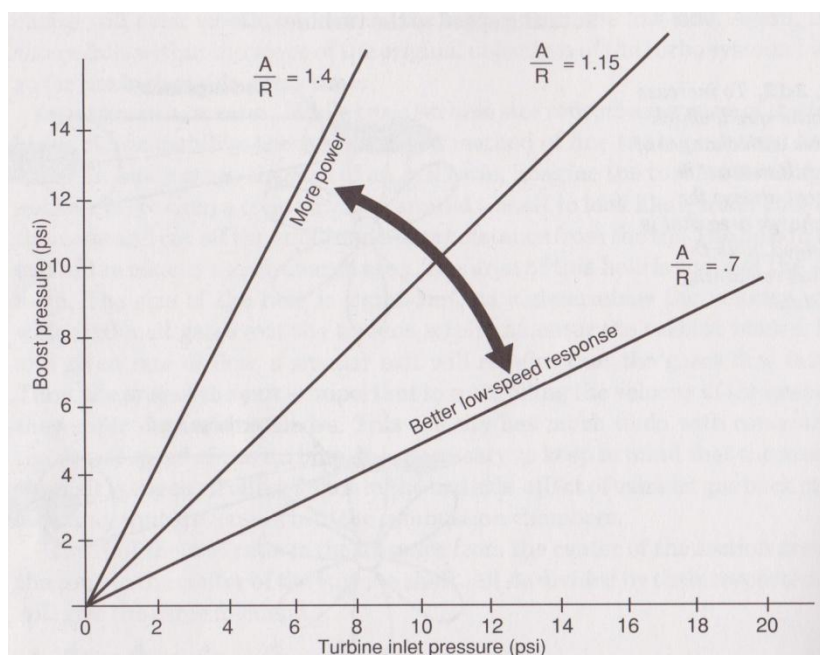
KUVA 1. Pakokaasuahtimen poikkileikkaus (Kosunen: Turboahdin 2012)

Tärkeimpiä lukuja ahtimen valinnassa on turbiinipesän A/R-suhte. Mitä pienempi A/R-suhte sitä paremmin ahdin herää alakierroksilla, mutta heikkoutena on menetetty teho kierrosalueen yläpäässä. Suurella A/R-suhteella saadaan enemmän tehoa yläkierroksille, heikkoutena on huono heräävyys. A/R suhteessa A tarkoittaa turbiinikotelon suuaukon pinta-alaa ja R puolestaan on turbiinipyörän keskipisteen ja suuaukon keskipisteen välinen etäisyys (kuva 2). A/R-suhte saadaan laskettua sijoittamalla kuvan 2 arvot kaavaan 1. (Kosunen: Turboahdin 2012; Bell 1997, 32)

$$\frac{A_1}{R_1} = \frac{A_2}{R_2} = \frac{A_3}{R_3} = \frac{A_4}{R_4} = \frac{A_5}{R_5} = \frac{A_6}{R_6} \quad (1)$$

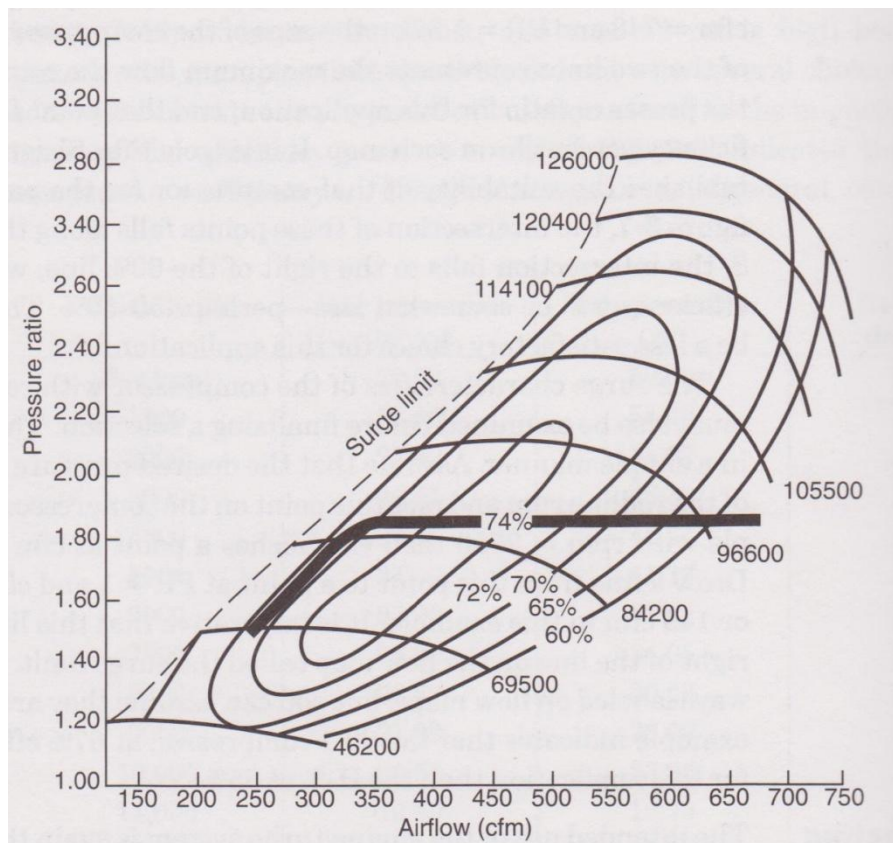


KUVA 2. A/R-suhde (Bell 1997, 32)



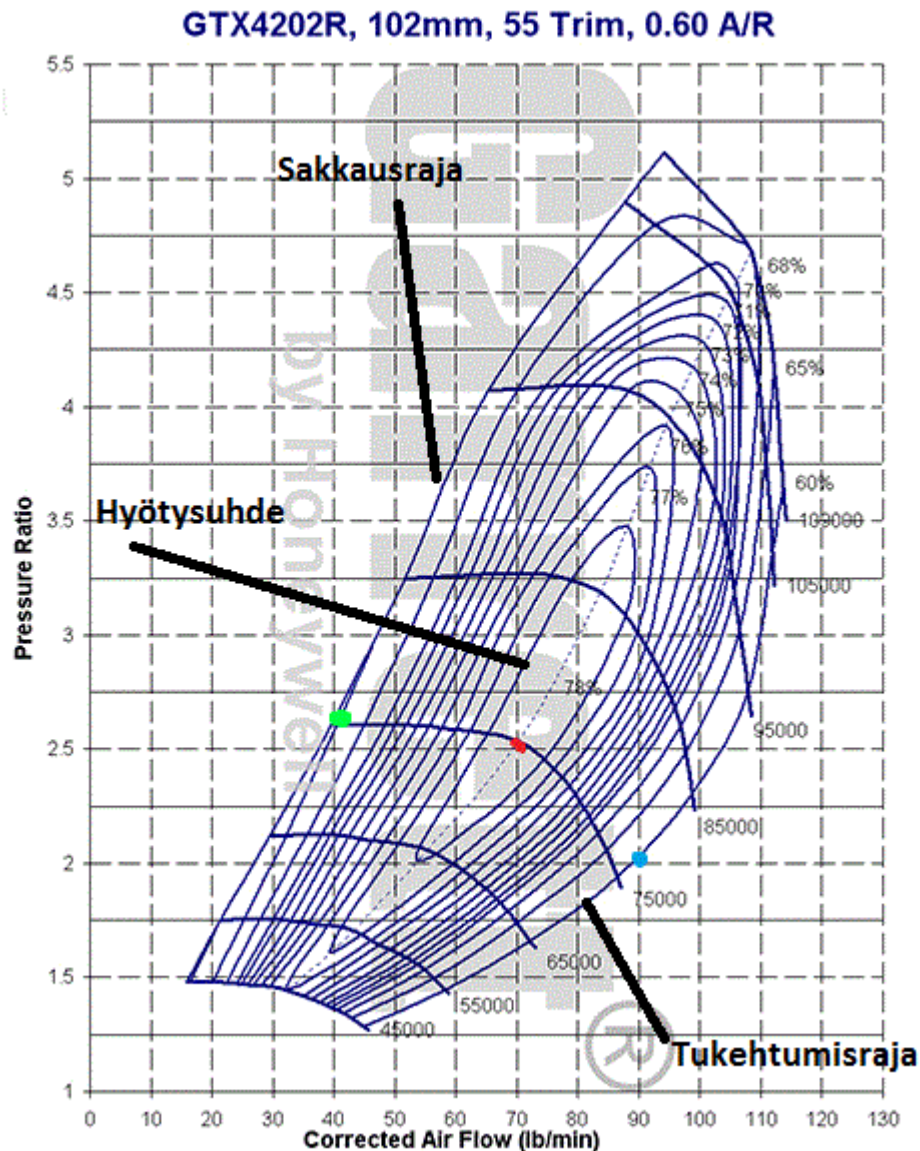
KUVA 3. A/R-suhteen vaikutus tehoon (Bell 1997, 34)

Mitä suurempi A/R-suhde sitä hitaampi kaasuun vastaavuus. Pienemmällä A/R-suhteella saadaan parempi vastaavuus matalilta kierroksilta (kuva 3).



KUVA 4. Kompressorikartta (Bell 1997, 30)

Kompressorikartan Y-akselille on merkitty painesuhde, joka on ahtimen tuottama kokonaispaine jaettuna ilmakehän paineella. X-akselilla puolestaan ilman massavirta (kuva 4). Kuvasta nähdään myös surge limit, jolla tarkoitetaan sakkausrajaa. Sakkausrajalla tarkoitetaan pistettä, jossa ahtimen painesuhde on liian suuri ja ilmavirta liian pieni suhteessa kompressorisiipeen. Kuvaajan reunoilla olevat lukemat kertovat puolestaan ahtimen pyörimisnopeuden. Kuvaajan keskellä prosentit kertovat kokonaishyötysuhteen. Hyötysuhde kertoo annoksen: paljonko moottoriin voidaan yhden imutahdin aikana polttoaineseosta syöttää. Laskemalla painesuhde ja ilmavirta nähdään, mikä on valitun ahtimen kokonaishyötysuhde. (Turbotekniikka: Viritysturbot)



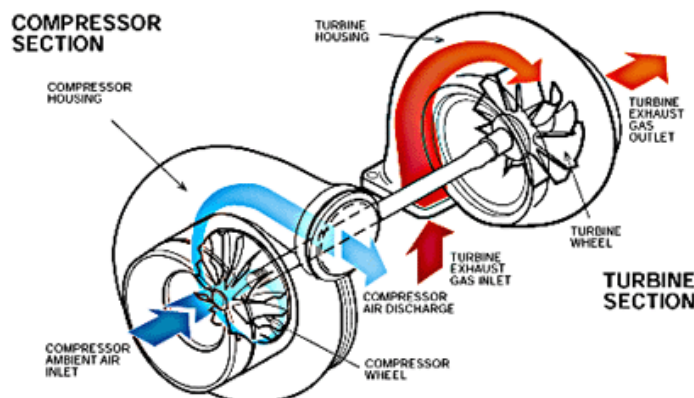
KUVA 5. Garrett GTX4202R kompressorikartta, muokattu (<http://www.turbo-garage.com.ua/shopimg/turbo/GTX/GTX4202Rmap.gif>)

Kuvasta nähdään Garrett GTX420R -kompressorikartta. Kyseinen ahdin on todella iso, jonka takia ahtimen pyörimisnopeudet ovat huomattavasti pienempiä kuin useimmilla ahtimilla. Maksimi pyörimisnopeus on vain 109000 1/min (kuva 5). Valitaan esimerkiksi painesuhde 2,5 ja ilman massavirraksi 70 lb/min. Saatujen tulosten perusteella valitun ahtimen hyötysuhde olisi 78% pyörimisnopeudella 75000 1/min, merkitty punaisella pisteellä (kuva5). Ahtimen toiminta tällä hyötysuhteella on ihanteellinen. Toisena esimerkkinä valitaan painesuhteeksi 2 ja ilman massavirraksi 90 lb/min. Tällöin ahtimen mitoitus ei ole onnistunut, koska ahdin on lähellä tukehtumisrajaa. Ahtimen kierrosnopeus on liian suuri ja hyötysuhde tippumassa alle 58%:n. Tällöin vaihtoehdoiksi jäävät suurempi kompressor tai suurempi painesuhde,

jotta päästäisiin lähemmäs kompressorikartan keskikohtaa, piste merkitty kuvaan sinisellä. Viimeisenä esimerkkinä valitaan painesuhteeksi 2,6 ja ilman massavirraksi 40 lb/min. Tällä olemme lähellä sakkausrajaa. Ahtimen pyörimisnopeuden ollessa 75000 1/min. Pyörimisnopeus lähes sama kuin ensimmäisessä vaihtoehdossa, mutta sakkausrajalla ahdin yrittää tuottaa liian paljon ahtopainetta liian pienellä ilmamäärällä, merkitty kuvaan vihreällä.

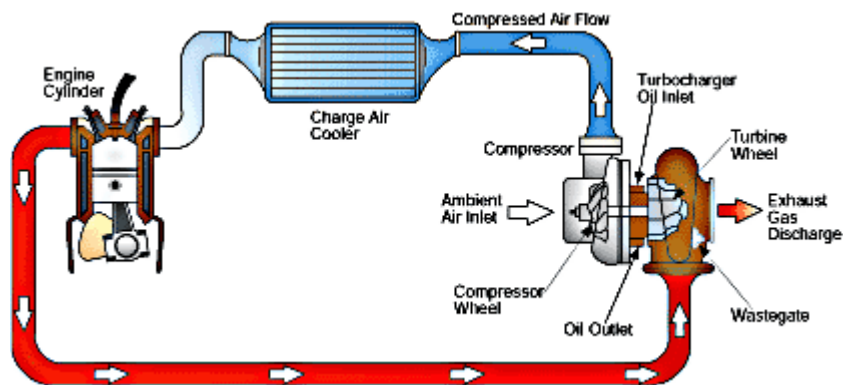
Päivittäisessä käytössä olevassa autossa ahtimet on usein räätälöity siten, että suhde on pieni, jotta saadaan ahdin heräämään matalilta kierroksilta. Ahtimessa olevalla pakopesän koolla pystytään säätämään myös heräämistä. Pahimmassa tapauksessa liian pienellä pakopesällä saadaan nostettua pakopaineet niin suuriksi, että moottorin lämpötila nousee liian suureksi. Tällöin vaarana on moottorin rikkoutuminen. (Kosunen: Turboahdin 2012)

Ahtimet ovat aina vähintään öljyjäähdytteisiä, joskus on lisäksi vielä vesijäähdytys. Vesijäähdytyksen heikkous on, että se usein lämmittää moottoria enemmän kuin itse vesi jäähdyttäisi ahdinta. Ahtimen keskikohdalle, yläpuolelle, tulee öljyn tuloletku ja vastakkaiselta puolelta lähtee öljyn paluuletku. Öljyn tehtävänä on voidella ahtimen akselin keskellä olevaa laakeria. Paluuletkua pitkin öljy valuu takaisin öljypohjaan ja takaisin moottorin kiertoon. Jotta ahdin ei nostaisi ahtopainetta rajojensa puitteissa, sitä on säädeltävä hukkaportilla. Hukkaportilla tarkoitetaan, joko ahtimeen integroitua venttiiliä tai erillistä venttiiliä. Hukkaportti säädetään aukeamaan tietyssä ahtopaineessa, jolloin se päästää pakokaasuja virtaamaan ahtimen ohi ja näin ollen ahtopaine ei pääse kohoamaan. Sarjatuotanto autojen vakioturboissa on usein integroitu hukkaportti. Virityskäytössä suositaan usein ulkoista hukkaporttia, koska se mahdollistaa tarkemman säädön. (Kosunen: Turboahdin 2012)



KUVA 6. Ahtimen toiminta (How turbochargers work 2011)

Kuvasta 6 nähdään ahtimen kompressorisiipi ja turbiinisiipi sekä ilmankierto. Kompressorin siiven keskelle tuleva viileä ilma kiertää kompressorin siiven ja lähtee välijäähdyttimen kautta moottoriin. Punaisella merkittyä ilmaa turbiinisiivellä tarkoitetaan koneesta tulevia pakokaasuja, joilla saadaan aikaan kompressorin käyttövoima. Kun pakokaasut ovat pyörittäneet turbiinisiipeä, ne poistuvat ahtimen päädyistä pakoputkeen. Kuvasta 7 nähdään ilman kiertäminen moottorissa kokonaisuudessaan.



KUVA 7. Ilman kierto ahdetussa koneessa (How turbochargers work 2011)

2.3 Polttoaineen syöttö

Ottomoottorilla varustetun auton polttoainejärjestelmän komponentteihin kuuluvat: polttoainepumppu, polttoainelinja, suutintukki, polttoainesuuttimet, polttoainesuodatin ja polttoaineen paineensäädin.

2.3.1 Polttoainepumppu

Polttoainepumppu on olennainen osa polttoaineen syöttöä. Polttoainepumppuja on sekä tankin sisäisiä että ulkoisia. Polttoainepumppu toimii yleensä 12V-jännitteellä, mutta esimerkiksi Suprassa on polttoainepumpulle oma ohjainlaite. Ohjainlaitteen tehtävä on säädellä polttoainepumpulle menevää virtaa. Ohjainlaite syöttää polttoainepumpulle noin 9V tyhjäkäynnillä ja matalilla kierroksilla. Kierrosten noustessa yli 3000 rpm antaa ohjainlaite 12V, jolloin saadaan koneelle lisää polttoainetta. (Bell 1997, luku 7 sivut 31-33.)

Ulkoiset polttoainepumput eivät usein jaksa imeä polttoainetta tankista ylös, joten tarvitaan siirtopumppu. Tällaiset järjestelmät ovat varustettuja sekä tankin sisäisellä että ulkoisella pumpulla. Suuri tehoiset autot saattavat tarvita kaksi tankin sisäistä pumppua, koska yhdellä pumpulla ei saataisi riittävästi ainetta suutintukille. (Graham Bell 1997, luku 7 sivut 31-33.)

2.3.2 Polttoainejärjestelmän loput komponentit

Polttoainepumppu siirtää polttoaineen suutintukille, mutta ennen kuin polttoaine on suutintukilla, sen on mentävä polttoainelinjan ja polttoainesuodattimen läpi. Polttoainelinja tehdään kestävästä materiaalista ja se kulkee usein auton alla. Polttoainelinjaan on sijoitettu polttoainesuodatin, jonka pääasiallinen tehtävä on ehkäistä epäpuhtauksien pääsy polttoainesuuttimille. Polttoainesuuttimia on monen kokoisia. Kun moottorin kokoonpanoa ryhdytään muuttamaan on usein edessä suuttimien vaihto. Suuttimien koko ilmoitetaan cc/min. Suuttimia on sekä matalaohmisia että korkea ohmisia. (Bell 1997, luku 7 sivut 2-4.)

3 TYÖN SUUNNITTELU

3.1 Moottorin lähtötilanne

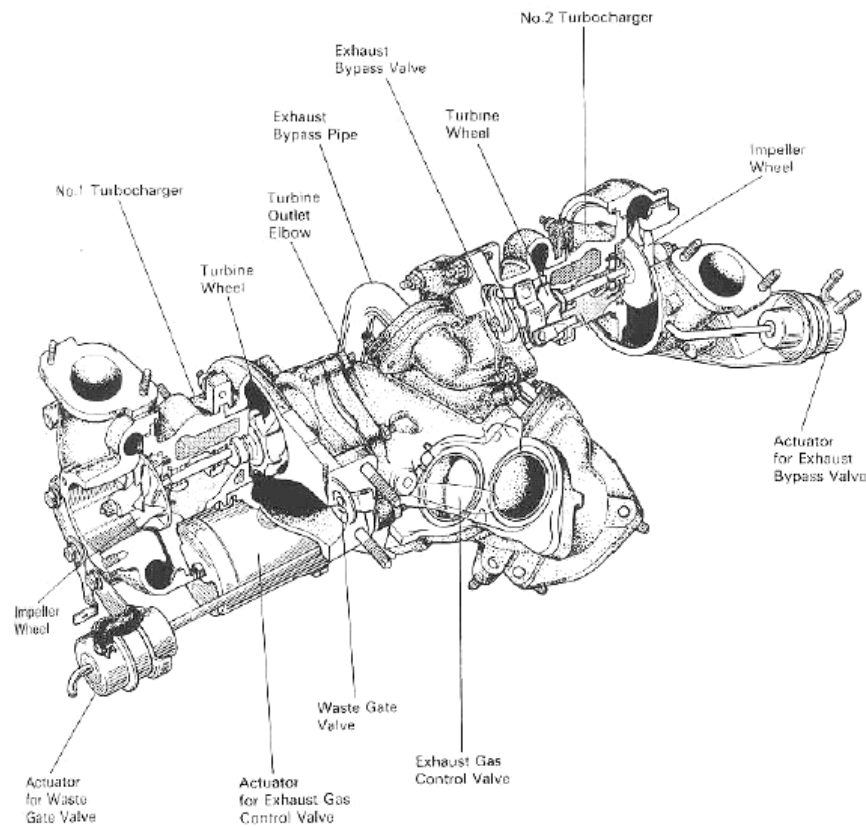
Lähtötilanne on lähes sama kuin tehtaalta lähtiessä. Autossa on 3,0l kaksoisahdettu moottori. 2JZ-GTE:n kaksoisahtimien ahtopaineen säätö on todella monimutkainen järjestelmä ja tästä syystä erittäin herkkä vioille. Tämä olikin pääsyy siirtymisessä kahden ahtimen järjestelmästä yhden ahtimen järjestelmään. Auto poikkeaa tehtaan normeista tällä hetkellä välijäähdyttimen ja pakoputkiston osalta.

TAULUKKO 1. Supran tehdasarvot (Supra specs and information 2013)

Details	Japanese MKIV
Horsepower	280 hp
Torque	323 ft/lb (1997 VVTi 338 ft/lb)
Injectors	430 cc
Injector Impedance	High Impedance
Inlet Cam Duration	224 deg
Cam Degrees	In Open 3 BTDC, Close 41 ABDC, Ex Open 52 BBDc, Close 4 ATDC
Inlet Cam Lift	7.8mm
Airflow Measurement	MAP sensor
Sequential Turbo's	CT20A (Ceramic) see Note 1 below
Turbine Size	60mm/48mm (inducer/exducer)
Compressor Size	62mm/39mm (inducer/exducer)
Turbine material	Ceramic
Scroll area (mm ²)	600
A/R ratio	0.42

Taulukosta 1 nähdään, että autossa on tällä hetkellä 430cc suuttimet, jotka ovat korkea ohmiset. Kohdassa 2.2 kerrottiin A/R-suhteesta: autossa se on vakiona 0,42. Pieni A/R-suhde selittääkin nykyisen nopean ahtopaineen nousun. Lisäksi taulukosta selviää, että ahtimet ovat keraamisilla siivillä, jotka ovat herkkiä hajoamaan. Nykypäivänä lähes kaikki ahtimet ovatkin jo terässiivillä. Imupuolen nokka-akselilla on nostoa vain 7,8mm, Euroopan markkinoille tuodussa versiossa on yli 8mm.

Työn aloitushetkellä autosta paljastuu muutama ongelmakohta, jotka laitetaan myös kuntoon. Kytkin luistaa, eikä kestäisi kohonneita teholumkia. Venttiilinvarren nostimen kumit ovat kovettuneet, tästä johtuu kylmäkäynnistyksien yhteydessä esiintyvä sininen savu.



KUVA 8. Supran alkuperäiset kaksoisahtimet (http://www.max-boost.co.uk/max-boost/images/supra/sequential/sequential_physical_location.gif)

Toyota Suprassa on alkujaan todella monimutkainen ahdinjärjestelmä, kuten kuvasta 8 nähdään. Kuvasta 8 puuttuu suurin osa ohjaus- ja alipaineletkuista. Ahtimet ovat pienet, eivätkä täten sovellu tehon nostamiseen. Vakiona ahtimet eivät pysty tuottamaan suurimmillaan kuin n. 1,3 bar:n ahtopaineen. Tällä ahtopaineella ahtimet ovat äärirajoilla, koska keraamiset siivet eivät kestä yhtä hyvin kuin teräs siipiset ahtimet.

3.2 Tavoitteet

Työn tavoitteena on saada Supran 3,0 litrainen kaksoisahdettu moottori toimimaan yhdellä ahtimella ja saada samalla reilusti lisää tehoa. Edut yhdelle ahtimelle siirtymiseen ovat kiistattomat. Paino vähenee ja ahtopaineiden ohjaus muuttuu huomattavasti yksinkertaisemmaksi. Tärkeät komponentit ovat helposti lähestyttävissä. Opinnäytetyön tekijä asetti itselleen tavoitteen, että oppisi tulkitsemaan moottorinohjausta sekä sähkökaavioita.

3.3 Tehojen nostaminen

Usein ahtimen ylityöaika on suositeltua, koska ahdin joka on ääriarajoilla, ei ole kovin pitkäikäinen. Suuttimien valinnassa on otettava huomioon suuttimien aukioloaika. Valitsimme suuttimet siten, että maksimi aukioloaika on 80%. Suuremmalla aukioloajalla voi tulla käyntihäiriöitä. Pakosarjalle ei suoriteta tavoitelaskelmia, vaan valintaperusteina toimivat hinta ja yleiset kokemukset. Tärkeimpänä tässä projektissa ovat suuttimet, pakokaasuahdin sekä bensapumppu. Näiden kolmen elementin on oltava riittävät, jotta koneesta saada riittävä tuotto.

Toyota Suprassa tehojen nostaminen vaatii ison ahtimen korvaamaan kaksi pienempää. Pelkkä suurempi ahdin ei yksinään tuota riittävästi tehoa, vaan se vaatii rinnalleen tehokkaan polttoaineen syötön sekä hyvän moottorinohjauksen, jotta kaikki potentiaali saadaan hyödynnettyä. Tehoa saadaan sitä enemmän, mitä enemmän koneen läpi saadaan ilma-polttonesteseosta vietyä. Määrään vaikuttaa oleellisesti ahtimelta tulevan ahtoilman lämpötila. Jos välijäähdytin jäähdyttää ilmaa riittävän viileäksi, saadaan sitä syötettyä enemmän moottoriin, koska se on tiheämpää. Ahdetut moottorit usein tuntuvatkin tehokkaammilta viileällä kelillä, kuin kesä helteillä. Polttoainepumpun osalta päädyttiin käyttämään yhden, tankin sisäisen, pumpun järjestelmää.

3.4 Ahtimen valinta

Laskut ovat teoreettisia, ja osa käytetyistä arvoista on arvioita, joten saatuihin tuloksiin ei voi täysin luottaa. Lopuksi tehtävästä tehonmittauksesta nähdään, onnistuivatko laskennat sekä ahtimen valinta. Ahtimen valinta aloitettiin laskemalla painesuhde. Painesuhteella tarkoitetaan ahtimen tuottamaa kokonaispainetta jaettuna ilmakehän paineella (Bell 1997, 26). Lähteestä poiketen laskujen yksikkönä käytettiin (bar) (psi) sijasta.

$$\text{Painesuhde } Pr = \frac{p_1 + p_2}{p_1} \quad (2)$$

Ahtopaineeksi P2 valittiin 1,6 bar ja ilmanpaineena P1 käytetään 1 bar. Sijoittamalla arvot kaavaan 2 saadaan

$$Pr = \frac{(1+1,6)}{1} = 2,6 \text{ bar}$$

Seuraavaksi laskettiin moottorin tarvitseman ilman määrä eli tilavuusvirta (Bell 1997, 27). Tilavuusvirta saadaan laskettua kaavalla 3

$$V = k \cdot T \cdot V_k \cdot \frac{n}{2} \cdot \frac{P_2}{P_1} \cdot \frac{T_1}{T_2} \quad (3)$$

Jossa

- V = Tilavuusvirta (m^3/s)
- V_k = Moottorin kokonaistilavuus (3 l)
- n = Suurinta tehoa vastaava nopeus (7500 rpm = 125 1/s)
- T = Sylinterin täytösaste (1,08 arvio)
- k = Muunnoskerroin 10^{-3}
- T_1 = Ulkoilman normaali lämpötila (300 K)
- T_2 = Ahtoilman lämpötila (410 K , arvio)
- P_1 = Ulkoilman paine (1 bar)
- P_2 = Ahtopaine (2,6 bar)

Sijoitetaan arvot kaavaan

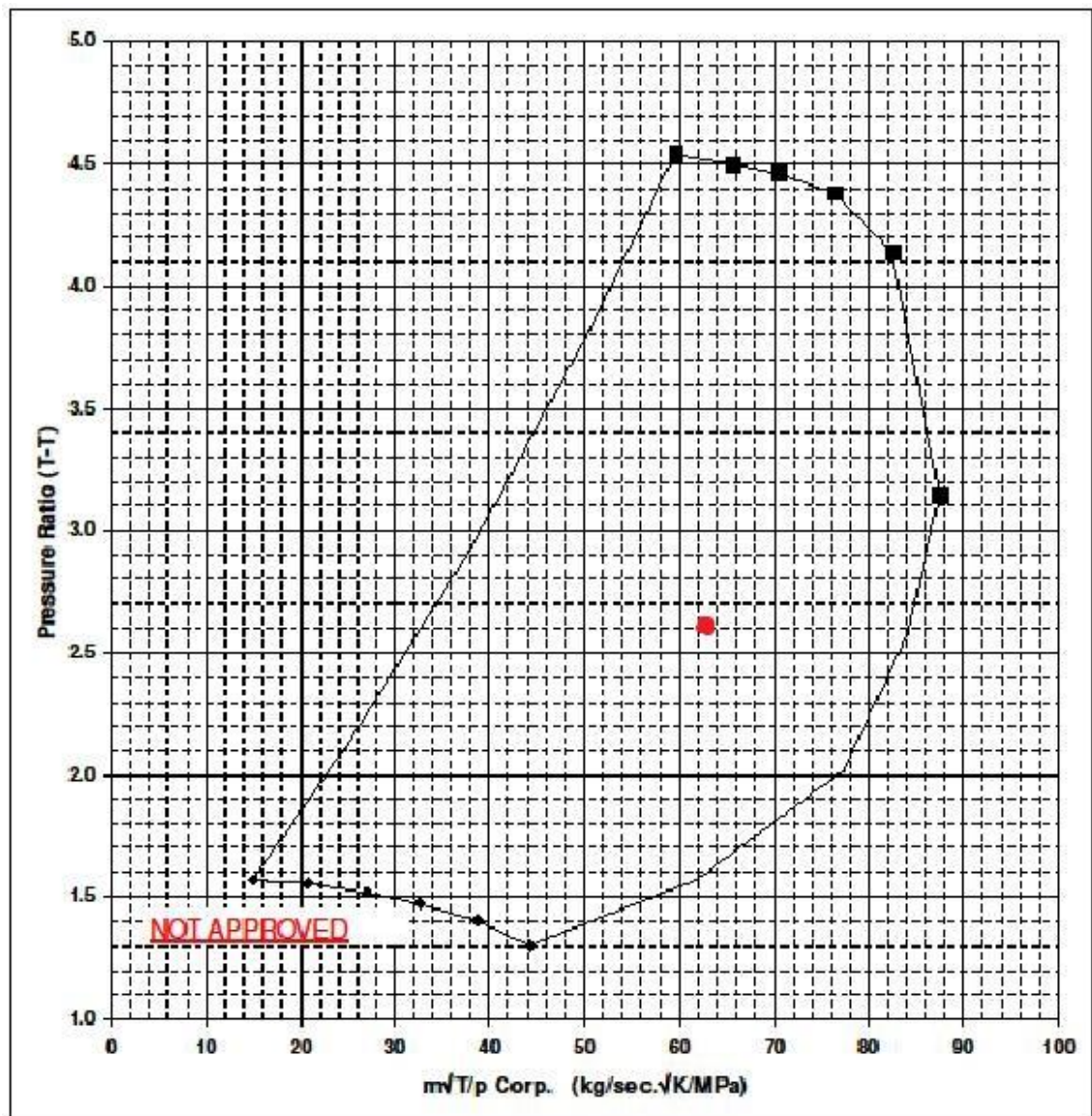
$$V = 10^3 \cdot 1,08 \cdot 3 \cdot \frac{125}{2} \cdot \frac{2,6}{1} \cdot \frac{300}{410}$$

Kaavasta saadaan tulokseksi $V \approx 0,39 \text{ (m}^3/\text{s)}$. Jotta voitaisiin tarkastella tulosta kompressorikartalla täytyy tulos muuntaa muotoon (lb/min). Tulos saadaan muunnettua kaavalla 4.

$$\frac{0,38524...m^3/s \cdot 1,226 \text{ kg/m}^3}{7,56 \cdot 10^{-3}} \quad (4)$$

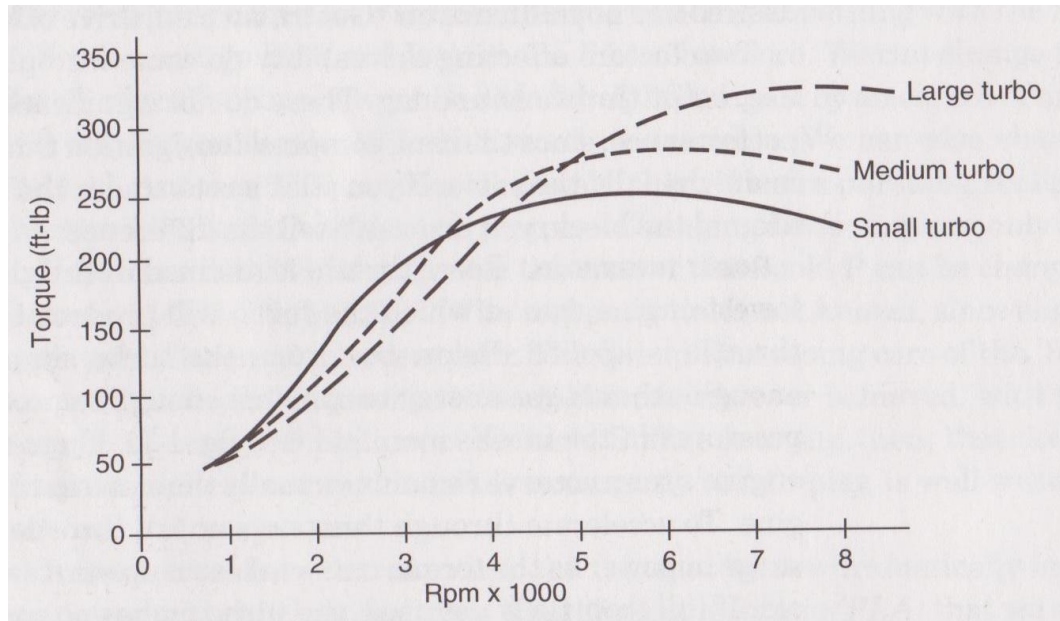
Kaavasta saadaan tulokseksi $V \approx 62,5 \text{ lb/min}$. Tarkasteltavaksi ahtimeksi valittiin Holset Hx40 Super. Holset ei tarjoa ahtimistaan virallisia kompressorikarttoja kuluttajille. Näin ollen käytämme turbotekniikan sivuilta löytyvää kompressorikarttaa Holset HX40 superille (taulukko 2). Tätä taulukkoa ei ole virallisesti hyväksytty, mutta toimii suuntaa antavana ahtimen valinnassa.

TAULUKKO 2. Holset Hx40 Super kompressorikartta, muokattu.
(http://www.turbotekniikka.fi/index.php?option=com_content&view=article&id=179&Itemid=148)

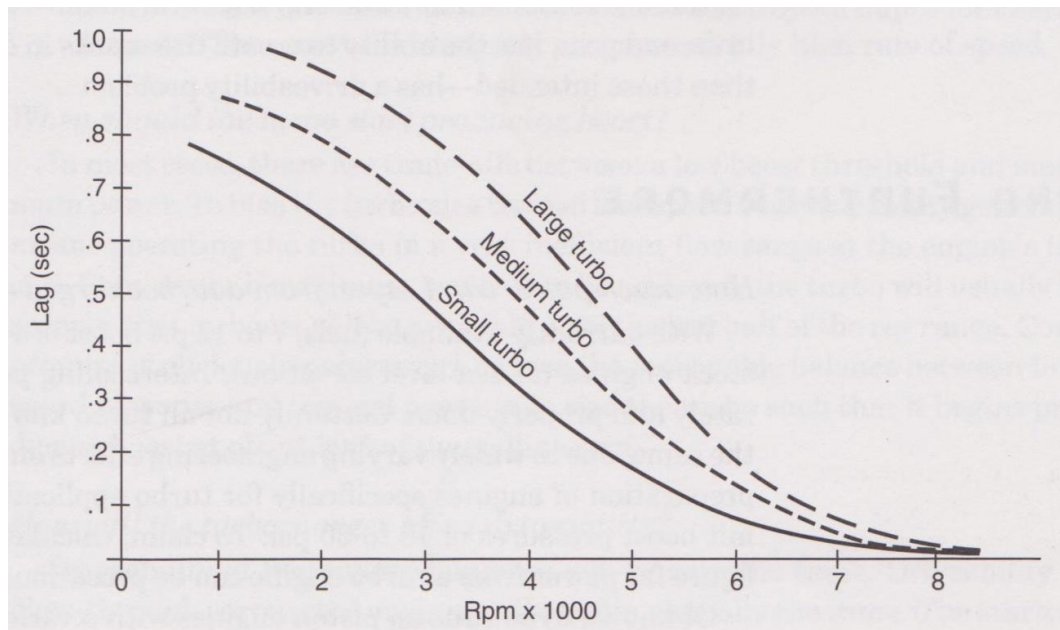


Valitettavasti kompressorikartan huonon laadun takia on vaikea arvioida ahtimella saavutettavaa hyötysuhdetta. Laskettu tilavuusvirta 7500 rpm kohdalta merkitty punaisella merkillä (taulukko 2). Voitaisiin olettaa hyötysuhteen olevan 75 - 77% kohdilla. Varmistettiin vielä 5000 rpm kierroksen kohdalla ja tulokseksi saatiin 41 lb/min. Jos suurin teho osuisi 5000 rpm kohdalle, oltaisiin todella lähellä sakkausrajaa. Päätimme valita ahtimeksi Holsetin HX40 superin. Tälle ahtimelle ahdinvalmistaja lupaa maksimituotoksi 0,53 kg/s eli 70 lbs/min. Kompressorisiipi 60 mm ja turbiini 65 mm. Ahtopaineen tuotto kyseissä ahtimessa on jopa 4,6 bar. Maksimituotto eli 70 lbs/min tarkoittaisi tehoina yli 600 hevosvoiman tehoja. Ahdin on riittävän suuri kolmelitraiselle koneelle, jolloin pakokaasujen virtaus on riittävää. Tällä ahtimella

saadaan sekä suuret tehot kierrosalueen yläpäähän että myös vääntöä kierrosalueen alapäähän. Kierrosalueen alapäähän vääntöä tullaan lisäämään myös säädettävillä nokkapyörillä ja jyrkemmillä nokka-akseleilla.



KUVA 9. Turbon koon vaikutus vääntöön (Bell, 10)



KUVA 10. Turboviive (Bell, 11)

Kuvasta 9 nähdään turbon koon vaikutus vääntöön. Isommalla ahtimella saadaan yläkierroksille suurempi vääntö, joka näkyy menetettynä vääntönä kierrosalueen alapäässä. Isolla ahtimella matalilla kierroksilla suuri turboviive (kuva 10). Turboviive tasaantuu kierrosten noustessa, koska ahdinta pyörittävien pakokaasujen määrä

lisääntyy. Matalilla kierroksilla moottori ei tuota riittävästi pakokaasuja, jotta ahtimen pyörimisnopeuden muutokset tapahtuisivat riittävän nopeasti. Valitsemamme Holsetin ahdin on keskikokoinen ja näin ollen loistava kompromissi hyvien käyttömahdollisuuksien ja suuren huipputehon välillä.

3.5 Polttoainepuolen osien valinta

Jotta suuret tehot olisivat mahdollisia, alkuperäinen polttoainepuoli on uusittava kokonaisuudessaan. Usein virituskäytössä käytetään kahden polttoainepumpun järjestelmää. Järjestelmät voivat olla varustettuja kahdella tankin sisäisellä, tai yhdellä tankin sisäisellä ja yhdellä ulkoisella polttoainepumpulla. Alunperin on yleensä vain yksi tankin sisäinen. Työssä päädyttiin hyvin lähelle vakioratkaisua, koska valittiin yksi tankin sisäinen polttoainepumppu. Kahden polttoainepumpun järjestelmä olisi riskialtis. Toisen pumpun rikkoutuessa auto toimii, mutta seokset saattavat mennä laihalle. Tästä voi seurata moottorin vaurioituminen. Yhden polttoainepumpun järjestelmässä tätä vaaraa ei ole. Yhden polttoainepumpun muut edut tässä tapauksessa ovat, että pystytään käyttämään alkuperäistä polttoainepumpun telineitä.

Polttoainepumpun valinnassa käytettiin hyödyksi Engineleticsin artikkelia vaaditun polttoainepumpun tuoton laskemisesta. (Engineletics: fuel pump sizing 2013) Polttoainepumpulta vaadittava tuotto (y) saadaan kertomalla haluttu hevosvoima määrä (H_v) polttoaineen kulutusarvolla (BSFC). Tuloksena saadaan polttoainepumpun tuotto litroina tunnissa l/h. Laskennassa haluttuna hevosvoimana käytetään 500 hv ja polttoaineen kulutusarvona turboahdetulle moottorille valittiin 0,58.

$$y = H_v \cdot \text{BSFC} \quad (5)$$

Sijoittamalla valitut arvot yhtälöön saadaan

$$y = 500 \text{ hv} \cdot 0,58 = 290 \text{ l/h.}$$

Laskujen mukaan 290 l/h tuottava polttoainepumppu olisi riittävä projektia varten. Laskenta suoritettiin vielä etanolin (RE85) polttoaineen kulutusarvoa käyttäen, jotta tulevaisuudessa ei jouduta vaihtamaan polttoainepumppua. Etanolin arvoksi valittiin 0,84. Sijoittamalla halutut arvot yhtälöön (5) saadaan

$$y = 500h_v \cdot 0,84 = 420 \text{ l/h}$$

Saatujen arvojen perusteella päästiin valitsemaan polttoainepumppua. Pumppu valittiin lähelle etanoli laskennan tulosta. Näin ollen se on varmasti riittävä bensiinille, mutta tulevaisuudessa myös etanolille.

Polttoainepumppuna käytetään Walbron valmistamaa TIA485-2 polttoainepumppua. Kyseinen pumppu on ainut tankin sisäinen polttoainepumppu, jonka luvataan kestävän E85-polttoainetta. Valmistaja lupaa pumpulle tuottoa 416 l/h.

Olennainen osa polttoaineen siirtoa ovat polttoainelinjat. Polttoainelinjat on vaihdettava suurempiin, jotta lisääntynyt polttoaine mahtuisi virtaamaan suutintukille. Ainakin polttoaineen tulolinjan on oltava suurempi. Vaikka toistaiseksi ei siirryttäisikään suoraan E85-polttoaineelle, eli etanolille, on polttoaineen tulolinja tehtävä sellaisesta materiaalista, että se kestää tarvittaessa myös etanolin. Käytännössä se tarkoittaa, että polttoainelinjan sisäpinnan pitää olla päällystetty teflonilla. Teflon ei sula alkoholin vaikutuksesta. Ulkopintana tulee olemaan teräspunos, suuren kulutuskestävyyden ja hyvän ulkonäön takia. Liittiminä tullaan käyttämään AN-liittimiä. Teräspunosletkun koko tulee olemaan AN8, jolloin voidaan käyttää joko AN6- tai AN10- liittimiä.

Jotta tiedettäisiin, minkä kokoiset suuttimet ovat riittävät projektiin, suoritettiin muutamat laskutoimitukset. Laskukaavoina käytettiin MegaSquirt-internetsivuilta saatuja kaavoja. (MegaManual: Injectors and fuel system 2013.) Suuttimien koko saadaan siten, että haluttu hevosvoima määrä ja polttoaineen kulutusarvo (BSFC) jaetaan suuttimien määrällä ja suuttimien käyttöasteella. BSFC arvo vaihtelee välillä 0,42 - 0,58. Alkupään arvot ovat vapaastihengittävälle moottorille, kun taas loppupään ahdetulle. Kaavalla 6 saadaan laskettua suuttimien koko (x).

$$x = \frac{H_v \cdot \text{BSFC}}{\text{suuttimien lukumäärä} \cdot \text{käyttöaste}} \quad (6)$$

TAULUKKO 3. Kaavan 6 lähtöarvot

BSFC arvo	0,58
Teho	500hv
Käyttöaste	80% (0,8)
Suuttimien lukumäärä	6

Sijoittamalla taulukon 3 lähtöarvot kaavaan (6) saadaan:

$$x = \frac{500 \cdot 0,58}{6 \cdot 0,8} = 60,4167 \text{ lb/h}$$

Muutetaan saatu tulos muotoon cc/min:

$$60,4 \cdot 10,5 = 634,375 \text{ cc/min}$$

Tulos pyöristettynä:

$$x \approx 634 \text{ cc/min}$$

Lopuksi tarkistimme tuloksen käyttämällä Finjectorin valmista suutinlaskuria. Tulokseksi saimme 571 - 698cc/min. Laskemamme tulos on valitulla alueella. Tästä voitaisiin päätellä laskujen onnistuneen. Suuttimien valinnassa on kuitenkin tärkeää ylimitoitus. Saatuamme suuttimien minimikooksi 634 cc/min päätimme ottaa projektiin 1000cc/min suuttimet, jotta virheiltä välttyttäisiin. Isot suuttimet koettiin tässä tapauksessa eduksi, jotta suuttimia ei tarvitsisi viedä ääriarajoille. Käyttöasteen ollessa 0,8 tai jopa pienempi. Suutinkiskoksi valittiin yleismalli, joka sopii valituille Bosch EV14 1000cc suuttimille. Polttoainesuodattimena tullaan käyttämään Bosch 0 450 905 601 -suodatinta. Suodattimessa on valmiiksi kierteet kummassakin päässä. Kierteet helpottavat an-liittimien ja näin ollen polttoainelinjan asennusta. Polttoainepumppu päädyttiin asentamaan alkuperäiseen telineeseen. Hitsasimme polttoainetelineen kanteen sekä meno- että paluulinjalle an-liittimet, jotta polttoainelinja saadaan kiinnitettyä.

3.6 Moottorinohjauksen valinta

Moottorinohjaus on keskeisin osa viritetyn ajoneuvon toimintaa. Huonolla moottorinohjauksella ei saada kaikkia tehoja irti, tai aiheutetaan moottorin vaurioituminen. Pitkän pohdinnan jälkeen valittiin moottorinohjaus. Useimmat moottorinohjaukset ovat kuluiltaan opiskelijan saavuttamattomissa. Tästä syystä projektiin valikoitui tamperelaisen Mauri Rannan kehittäämä MrTech moottorinohjaus. MrTech on sekä helppo asentaa että kuluiltaan edullinen. MrTechin paras puoli on palvelu. Ranta vastaa puhelimeen jopa maailman toiselta laidalta tai keskellä yötä. MrTech onkin ainut moottorinohjaus, jossa itse tuotteen kehittäjä saapuu säätämään ajoneuvon seoskartat kohdilleen. Valitettavasti MrTech ei ole vielä luotettavimpia moottorinohjauksia, koska on uusi tuote markkinoilla. Maurin suuri halu kehittää ja parantaa tuotettaan vie MrTechiä reilusti eteenpäin. Projektiin valikoituikin MrTechin uusin versio, joka valmistui juuri ennen projektin aloitusta. Projektin auto olisi siis ensimmäinen, johon tuo uusi moottorinohjaus asennettaisiin.

MrTechin käytettävyys on kohtalainen. Aloitusnäytössä pitäisi näkyä enemmän tietoja nykyiseen verrattuna. Lisäksi kartat sekä asetukset aukeavat kaikki uuteen ikkunaan, jolloin aloitussivua ei näy ollenkaan. Ohjelma on suomenkielinen sekä ilmaiseksi ladattavissa. Ominaisuuksiltaan MrTech vastaa Tatechia. Tatech on lähinnä suunniteltu 4-sylinterisiin ajoneuvoihin, kun taas MrTech on nimenomaan suunniteltu 6-sylinterisiin ajoneuvoihin. Ja tietävästi käytetty onnistuneesti jo useammassa 2JZ-GTE sarjan koneessa.

3.7 Muut osat

Tällaiseen projektiin tarvitsee isojen komponenttien lisäksi myös paljon pienempiä osia. Tällaisia osia ovat esimerkiksi AN-liittimet, tiivisteet, pakoputkitarvikkeet ja kiristinpannat. Näiden osien kohdalla valinnat suoritetaan tarvittaessa, koska kaikkea ei voida etukäteen suunnitella.

3.8 Kustannusarvio

Kustannusarvioon laskettiin pelkästään osien hinnat. Suurimman osan työstä työn tekijä suorittaa itse. Kustannusarvioon merkittiin isoimmat komponentit.

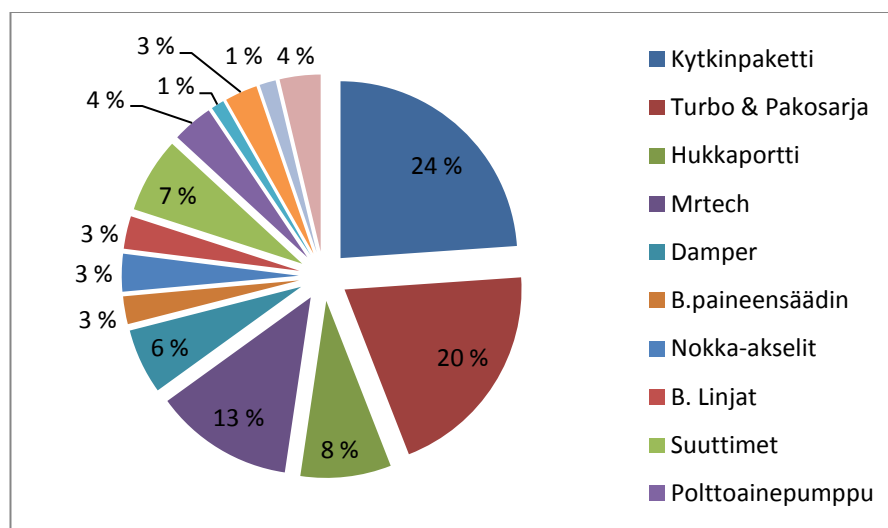
Lisäksi kuten taulukosta 4 nähdään jotkin kustannuksista ovat arvioita, koska niille ei löytynyt listahintaa.

TAULUKKO 4. Kustannusarvio

	Arvio	
Kytkinpaketti	1600	
Turbo & Pakosarja	1350	
Hukkaportti	554	
Mrtech	850	
Damper	400	
B.paineensäädin	170	
Nokka-akselit	230	
B. Linjat	200	arvio
Suuttimet	460	
Polttoainepumppu	250	
Suutintukki	80	
Putkiston osat	200	arvio
Venttiilivar. Kumit	100	arvio
Nokkapyörät	250	arvio
Yhteensä	6694	

Työtä tehdessä ja osia hankittaessa pidetään kirjaa toteutuneista hankinnoista. Loppupäätelmissä pohditaan, kuinka hyvin alkuperäinen kustannusarvio toteutui. Taulukosta nähdään, että suurimmat kustannukset tulevat ahtimesta ja pakosarjasta sekä kytkinpaketista (taulukko 4). Kytkimen ja ahdinpuolen kustannukset ovat 44% koko kustannuksista (taulukko 5). Yhteensä kustannukset ovat noin 7000€. Mahdolliset lisäkustannukset selviävät loppuyhteenvedosta.

TAULUKKO 5. Kustannusarvio prosentuaalisesti



4 TYÖN SUORITTAMINEN

4.1 Ahdinpuolen purkaminen

Työ aloitettiin tekemällä järjestelyjä talliin, jotta saataisiin mahdollisimman hyvät työskentelytilat. Auto laitettiin talviseisontaan, jonka jälkeen työt saivat alkaa (kuva 11). Ensimmäisessä vaiheessa purettiin ahdinpuoli kokonaan: ahtimien ja pakosarjan irrotusta. Purkaminen on työläs ja hidas prosessi, koska pultit ja mutterit ovat olleet noin 20 vuotta kiinni. Auto nostettiin kolmijalkojen päälle. Keulasta purettiin etuvalot ja konepelti, jotta työ helpottuisi ja saataisiin lisää tilaa. Jäähdyttimen kenno ja tuulitunneli irrotettiin myös, jotta tilaa olisi mahdollisimman paljon.

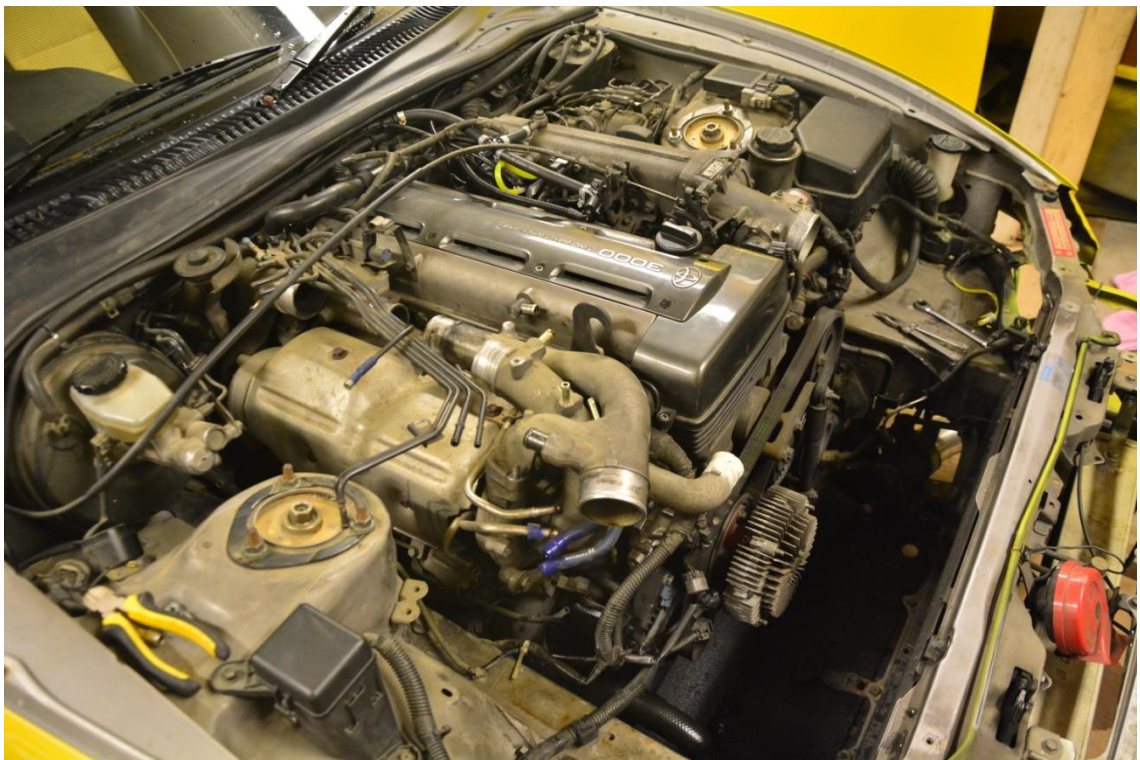


KUVA 11. Projektin aloitus (Kuva: Antti Sillanpää 2014)

Alkuvalmistelujen jälkeen päästiin turbojen irrotukseen. Ensimmäisessä vaiheessa irrotettiin ilmanpuhdistin ja yläpuoliset alipaineputket (kuva 13).



KUVA 12. Työn aloituskohta (Kuva: Antti Sillanpää 2014)



KUVA 13. Ahdinpuolen purkaminen (Kuva: Antti Sillanpää 2014)

Yläpuolisten imuputkien sekä alipaineletkujen irrotuksen jälkeen päästiin käsiksi lämpöpeltiin. Lämpöpellin alta päästiinkin jo itse ahtimiin käsiksi (kuva 14).



KUVA 14. Ahdinpuolta purettuna (Kuva: Antti Sillanpää 2014)

Ensimmäisen ahtimen, joka sijaitsee lähempänä keulaa ja toisen ahtimen joka on tulipellin puolella välissä on valettu y-haara. Tämä y-haara kiinnittyy kumpaankin ahtimeen pinnapulteilla ja muttereilla. Tämä liitos on saatava purettua, jotta päästään käsiksi ahtimien kiinnityspultteihin. Työn tässä vaiheessa kesti yllättävän kauan, koska mutterit olivat todella tiukasti kiinni. Muutama mutteri sijaitsi vaikeapääsyisessä paikassa. Useimmat pulteista olivat irrotettavissa yläpuolelta, mutta alapuolella olivat toisen ahtimen öljynpaluu sekä vesikierron pultit.

Y-haaran muttereiden irrotuksen jälkeen saatiin ensimmäinen ahdin irti. Tämän jälkeen päästiin käsiksi toisen ahtimen kiinnityspultteihin (kuva 15). Toinen ahdin irtosikin helposti tämän ensimmäisen jälkeen. Jäljellä olikin vain pakosarjan irrotus, jossa ei ongelmia ilmennyt. Kuvasta nähdään kuinka paljon ahtopuolelta osia irtosi (kuva 17). Näistä useimmat jäävät ylimääräiseksi. Kun ahtimet olivat irti, kokeiltiin uutta ahdinta paikalleen (kuva 19).



KUVA 15. 1.ahdin irrotettuna (Kuva: Antti Sillanpää 2014)



KUVA 16. Molemmat ahtimet irrotettuna (Kuva: Antti Sillanpää 2014)



KUVA 17. Ahdinpuolen osat (Kuva: Antti Sillanpää 2014)



KUVA 18. Ahdin, pakosarja ja hukkaportti (Kuva: Antti Sillanpää 2014)



KUVA 19. Ahtimen sovittelua konehuoneeseen (Kuva: Antti Sillanpää 2014)

Kuvasta nähdään, että ahtimelle ja pakosarjalle on hyvin tilaa koneen kyljessä (kuva 19). Ahtimen kompressorin kotelo on käännetty n. 45-astetta, jotta saadaan ahtoputki lähtemään suoraan alaspäin. Se helpottaa ahtoputkiston rakentamisessa, joka jää suurimmaksi osaksi piiloon.

4.2 Polttoainepuolen uusiminen

Imusarjan irrotus, joka sijaitsee vastakkaisella puolella konetta kuin pakosarja, oli huomattavasti helpompaa kuin pakosarjan irrottaminen. Imusarjan irrottamisen pääsyyinä oli polttoainesuuttimien ja suutinkiskon vaihtaminen. Suutinkisko sijaitsee imusarjan puolivälissä. Imusarjan irrotuksen yhteydessä on tarkoitus vaihtaa myös alkuperäinen askelmoottorinen tyhjäkäyntimoottori uuteen. Myös uuden map-anturin asennus on helpompaa imusarjan ollessa irti. Imusarjan alta pääsee poistamaan paineakun ja muita osia, joita ei jatkossa tarvita.

Irrotuksen alkuvaiheessa siirrettiin ohjaustehostinsäiliö syrjään, irrotettiin kaasuvaijeri ja päästiin käsiksi imusarjan pultteihin. Supran imusarja on kaksiosainen. Yläosa koostuu säiliöstä, josta lähtee yksi putki jokaiselle sylinterille. Yläosa on usealla pultilla kiinni alaosassa, joka taas kiinnittyy moottorin sylinterikanteen. Moottorin johtosarja

kulkee imusarjan alla, ja on monesta kohtaa kiinnitetty imusarjaan pultein. Imusarja irrotettuna (kuva 20).

Irrotuksen jälkeen päästiin suunnittelemaan uusien suuttimien ja bensalinjan asennusta. Bensalinjan mitoituksessa käytettiin apuna narua, jolla pystyttiin mittaamaan tulevan bensalinjan kulkureitti. Polttoaineen menopuolen linjan pituudeksi saatiin 4000 mm. Vastaavasti polttoaineen paluulinjaksi saatiin 4750 mm. Kummatkin linjat ovat kokonaispituudeltaan 4750 mm, koska polttoainepumpulta polttoainesuodattimelle oli tehtävä 750 mm pituinen linja. Käytämme järjestelmässä vain yhtä suodatinta menolinjassa. Polttoainelinjat teetettiin tamperelaisessa yrityksessä. Linjoina käytettiin teräspunosletkua, joka on sisältä pinnoitettu teflonilla. Halkaisijaltaan linjat ovat 8½mm. Liittimiksi valikoitui sekä an-liittimiä sekä jic-liittimiä. Polttoainepumpun asennuksessa pyrittiin mukailemaan alkuperäistä. Uusi polttoainepumppu on kooltaan vain hieman suurempi kuin vanha pumppu. Näin ollen pystyttiin käyttämään alkuperäistä polttoainepumpun telineä ja uusi pumppu saatiin kiinnitettyä. Polttoaineen siirto pumpulta telineeseen toteutettiin alkoholia kestäväällä kumiletkulla. Virta sekä maadoitus saatiin tehtyä alkuperäisiä liittimiä hyödyntäen. Sähköliitännät eristettiin hyvin toisistaan kipinöiden välttämiseksi.

Suuttimien asennuksessa uusittiin vanhojen suuttimien liitinkotelot, jotta sopisivat uusiin suuttimiin. Käytettäviin suuttimiin asennettiin yläpäähän pienet suodattimet. Suuttimen alapäihin pantiin holkit, jotta ne sopisivat imusarjan alaosaan. Suutinkisko liitettiin pidempiä holkkeja käyttäen imusarjaan (kuva 21). Suutintukki kiristettiin varovasti, jotta suuttimia ei puristettaisi liikaa. Polttoaineen menolinjan asennuksen jälkeen liitettiin se suutintukin tulopäähän. Suutintukin paluupäähän liitettiin noin 1000mm pituinen linja bensiinpaineensäätimelle. Suutintukin sekä paineensäätimen liitännät tehtiin an6- sekä jic6-kokoisilla liitoksilla. Bensiinpaineen säätimen alaosassa sijaitsevaan paluulähtöön kiinnitettiin varsinainen paluulinja. Paluulinja vedettiin auton alta takakonttiin polttoainepumpulle saakka. Linjan vetämisessä pyrittiin viemään se mahdollisimman lähellä alkuperäisen polttoainelinjan reittiä. Auton taka-akselin kohdalla se vietiin pohjaa myötäillen akselin yli. Akselin ylityksen jälkeen linja nostettiin takakontin puolelle, josta se vedettiin polttoainepumpun liitäntään.



KUVA 20. Imusarja irrotettuna (Kuva: Antti Sillanpää 2014)



KUVA 21. Suuttimet asennettuna (Kuva: Antti Sillanpää 2014)

4.3 Vauhtipyörän ja kytkimen uusiminen

Imusarjan irrotuksen yhteydessä otettiin vaihteisto irti, jotta saadaan kytkin ja vauhtipyörä vaihdettua. Vaihteiston irrotus oli haastavaa tilan puutteen vuoksi. Vaihteiston ylimmät kiinnityspultit olivat todella hankalasti irrotettavissa. Vaihteiston

irrotuksen yhteydessä huomattiin, että ainakin vaihteiston takapään tiiviste sekä siirtäjän tiivisteet vuotavat öljyä.

Vaihteiston irrotuksen jälkeen, vaihteiston ollessa irrallaan vaihdettiin vuotavat tiivisteet. Kytkinpaketin saavuttua Japanista, aloitettiin uudelleen asennus. Vanha kaksoismassavauhtipyörä korvattiin uudella kiinteällä vauhtipyörällä. Vanha kytkinlevy oli todella kulunut, ja näin ollen vaihto ajankohta oli otollinen (kuva 22).



KUVA 22. Vanha kytkinlevy (Kuva: Antti Sillanpää 2014)

Vanhan yksi levyisen kytkimen tilalle laitettiin kolmikerroksinen monilevykytkin. Kytkin valittiin erinomaisien vääntökestojen takia. Valmistaja lupaakin kytkimelle väännön kestoja noin 1000 nm. Kytkimen valinnassa ei koettu tarpeelliseksi suorittaa mittauksia, koska bensa-auton vääntö ei merkittävästi nouse teholukemia suuremmaksi. Uuden kytkimen asennuksen yhteydessä vanha vetävä painelaakeri korvattiin uudella työntävällä painelaakerilla (kuva 23). Vanha työsylinteri korvattiin tehokkaammalla sylinterillä, jotta sylinterin voima riittäisi irrottamaan järeämmän kytkimen. Vauhtipyörän sekä kytkinasetelman kiinnityspulttien kiristysmomentit etsittiin Supra

TSRM -korjausmanuaalista. Kytkimen asennuksen jälkeen, järjestelmä ilmattiin ja kytkimen todettiin toimivan oikein.



KUVA 23. Uusi painelaakeri (Kuva: Antti Sillanpää 2014)



KUVA 24. Uusi kytkin keskitettynä (Kuva: Antti Sillanpää 2014)

4.4 Uuden ahtimen asennus

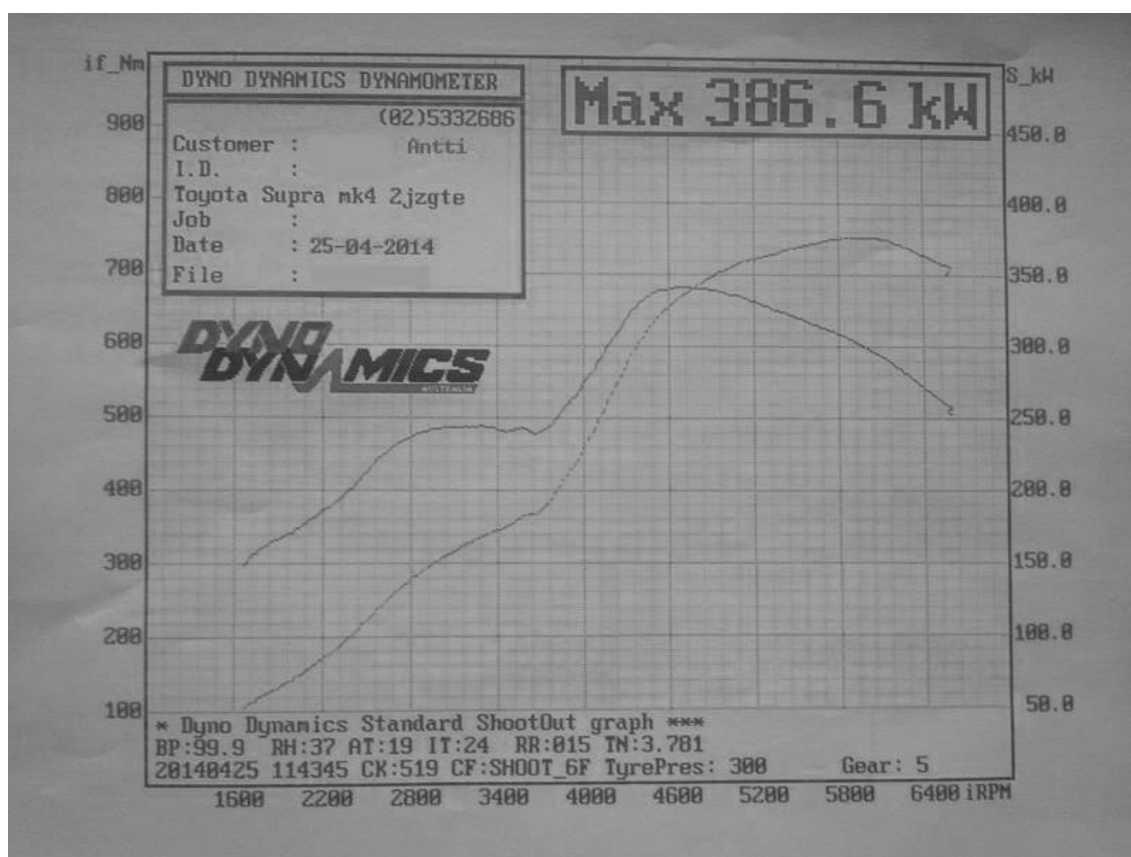
Uuden ahtimen asennuksessa eniten aikaa vievät tekijät ovat putkiston hitsaus sekä ahtoputkiston rakentaminen. Ahtimen asennus aloitettiin vaihtamalla uusi pakosarjan tiiviste. Uusi pakosarja kiinnitettiin vanhoja muttereita käyttäen. Ahdin kiinnitettiin pakosarjaan pinnapulttien ja muttereiden avulla. Ahtimen kompressorikotelo käännettiin siten, että ahtoputken lähtö on suoraan alaspäin. Se helpottaa huomattavasti ahtoputkiston rakentelua. Ahtimen ollessa kiinni, asennettiin hukkaportti jarrunestesäiliön alle. Hukkaportti asetettiin sellaiseen asentoon, että putken lähtö osoittaa samaan suuntaan kuin auton pakoputki. Hukkaportin putki vietiin auton alle, mutta sitä ei kiinnitetty varsinaiseen pakoputkeen. Ratkaisu on hieman äänekkäämpi, mutta huomattavasti helpompi toteuttaa.

Pakoputken lähtö toteutettiin ahtimeen pulttavalla sovitelaipalla. Laippaan saatiin hitsattua kartiolähtö. Kartiolla saadaan aikaan pakokaasujen pyöriminen joka nopeuttaa niiden poistumista ja ahtimen heräämistä saadaan aikaistettua. Kartion jälkeen hitsattiin downpipe sekä kilpailu katalysaattori. Ennen katalysaattoria putkistoon laitettiin verkkojousto, jotta auton värinät eivät hajoita pakosarjan pinnapultteja. Putkiston halkaisijaksi valittiin 889 mm eli kolmen ja puolen tuuman teräsputki.

4.5 Viimeistelytyöt

Jotta ahtimen asennuksesta saataisiin kaikki tarvittava hyöty, vaihdettiin autoon paljon kulutusosia sekä pienempiä komponentteja, joiden vaihtoon ei varsinaisesti työssä paneuduta. Koneen kasauksessa uusittiin paljon tiivisteitä ja venyviä pultteja. Samalla paranneltiin jäähdytystä uudella jäähdyttimen kennolla sekä tuulettimilla. Parhaan mahdollisen tuloksen saamiseksi sekä tarvittavan voitelun takaamiseksi vaihdettiin vaihteisto- sekä moottoriöljyt. Uudesta ahtimesta johtuen ilmanpuhdistin ratkaisukin meni uusiksi. Vapaavirtaussuodattimelle menevä imuputki korvattiin huomattavasti isommalla. Tulevaisuudessa ilmansuodatin koteloidaan ja koteloon ohjataan tuoretta ilmaa ilmanohjaimen kautta, jotta moottori saa aina viileää ilmaa.

5 TULOSTEN KÄSITTELY



KUVA 25. Tehonmittaus (Kuva: Antti Sillanpää 2014)

Auto saatiin tehonmittaukseen huhtikuussa 2014. Ensimmäinen mittaus ei tuottanut tulosta, koska säädöt olivat pahasti pielessä. Ensimmäisellä vedolla saatiin vain 370 hevosvoimaa. Sytytysennakkoa vähennettiin, ahtopainetta nostettiin ja suuttimien aukioloa lisättiin. Lopulta päästiin tulokseen, joka miellyttää työn tekijää. Tulokseksi saatiin 386,6 kw eli noin 525 hevosvoimaa. Kuten kuvasta 25 näkyy, tehokäyrä nousee lineaarisesti. Huipputeho saavutettiin 5000 rpm kohdalla. Täydet ahtopaineet saavutettiin reilun 4000 rpm kohdalla.

Tehokäyrästä nähdään tehojen laskevan huipputehon jälkeen. Tässä päästiin toteamaan käytännössä kohdassa 3.4 laskettujen huipputehojen vaikutukset. Kuten kohdassa 3.4 laskettiin, huipputehon osuessa 5000 rpm ollaan todella lähellä sakkausrajaa. Tämä on olennaisin syy tehokäyrän maltilliseen laskuun lakipisteen jälkeen. Olisiko suuremmalla pakopesällä saatu paremmat tulokset? Luultavasti kierrosalueen yläpäässä olisi ollut enemmän tehoa, mutta herääminen ja täydet ahtopaineet huomattavalla viiveellä. Jos

huipputeho olisi ollut ylempänä, oltaisiin oltu kauempana sakkausrajasta. Tuloksena tämä on ideaalinen, koska käyttöalue on todella laaja.

Tulosten käsittelyä olisi helpottanut tehonmittaus ennen muutoksia. Sitä ei ollut mahdollisuutta suorittaa. Suurin ero tehtaan asetuksiin, että nykyisellä ahtimella täydet ahtopaineet saavutetaan myöhemmin. Huipputehoa on huomattavasti enemmän ja vääntö on kasvanut, etenkin yläkierroksilla.

TAULUKKO 6. Suunnitellut kulut ja toteutuneet kulut

Suunnitellut kulut	
Kytkinpaketti	1600
Turbo & Pakosarja	1350
Hukkaportti	554
Mrtech	850
Damper	400
B.paineensäädin	170
Nokka-akselit	230
B. Linjat	200
Suuttimet	460
Polttoainepumppu	250
Suutintukki	80
Putkiston osat	200
Venttiilivar. Kumit	100
Nokkapyörät	250
Yhteensä	6694

Toteutuneet kulut	
Kytkinpaketti	1600
Turbo & Pakosarja	1350
Hukkaportti	500
Mrtech	850
Damper	80
B.paineensäädin	170
Nokka-akselit	230
B. Linjat	300
Suuttimet	460
Polttoainepumppu	250
Suutintukki	80
Putkiston osat	180
Venttiilivar. Kumit	150
Nokkapyörät	80
Tullimaksut	300
Tehonmittaus	500
Liittimet	200
Yhteensä:	7280

Taulukosta nähdään suunnitellut kulut ja toteutuneet kustannukset (taulukko 6). Kustannukset nousivat $7280 - 6694 \text{ €} = 586 \text{ €}$. Kustannusarvion osalta tulosta voidaan pitää kohtuullisena. Kustannukset nousivat noin 8 %. Osa kustannuksista kuten liittimet, tullimaksut ja putkiston osat ovat sellaisia kuluja, joita on hankala etukäteen arvioida.

6 POHDINTA

Työtä voidaan pitää onnistuneena. Auto saatiin toimimaan ja tehotavoitteeseen päästiin. Työn tekijä oppi paljon teoriaa pakokaasuahtimen mitoituksista ja nelitahtimoottorin virittämisestä. Projekti saatiin päätökseen, mutta kehitystyö auton kanssa jatkuu. Seuraavat tavoitteet asetetaan parempaan heräämiseen ja huipputehoon. Alkuperäinen kustannusarvio ylitettiin, joskin maltillisesti. Isoimpien komponenttien kohdalla pysyttiin suunnitelmassa, mutta pienistä kustannukset nousivat yllättävän paljon. Kustannusarviossa ei myöskään oltu huomioitu tullimaksuja osista, jotka tilattiin ulkomailta.

Työ oli todella mielenkiintoinen. Työssä nähtiin teoreettinen puoli, mutta myös käytännön osuus. Työ ei rajoittunut pelkästään pakokaasuahtimen mitoitukseseen ja vaihtoon, vaan päästiin myös muuttamaan muita tarvittavia komponentteja. Näiden muiden komponenttien käsittely jäikin sivurooliin. Moottorinohjauksesta ja sen säätömahdollisuuksista voisi tarvittaessa tehdä väitöskirjankin. Laskennan jälkeen saatiin tietynlainen mielikuva ahdinvalinnasta. Auton käyttäytyminen ja tehonmittauksen suorittaminen antoi kuitenkin parhaan kuvan miten ahtimen valinta onnistui. Toisen ahtimen kokeileminen vertailumielessä olisi ollut suotavaa, mutta siihen ei ollut mahdollisuutta. Useimmat ahtimet vaativat erilaisen pakosarjan ja näin ollen testaaminen ristiin ei ole mahdollista.

Mitoituksen näkökulmasta työ onnistui erinomaisesti. Suuttimet olivat riittävän kokoiset ja polttoainepumppu jaksoi tuottaa riittävän syötön suuttimille. Ahdin on riittävä näille tehoille. Tehonmittauksen perusteella voidaankin todeta, että suuttimissa ja polttoainepumpussa on riittävästi tehoa jopa etanolia varten. Ennen etanolille (RE85) siirtymistä olisi ensisijaisen tärkeätä saada auto toimimaan bensalla, jotta välttyttäisiin turhilta ongelmilta.

LÄHTEET

Bauer, H.2002. Autoteknillinen taskukirja 6. painos. Suomentaja Heikki Haapaniemi. Jyväskylä: Autoalan Koulutuskeskus Oy.

MacInnes, H. 1987. Turbochargers. New York: The Penguin Group.

Bell, C. 1997. Maximum Boost: Designing, Testing and Installing Turbocharger Systems. England: Motor Racing Publications Limited.

Graham Bell, A. 1998. Nelitahtimoottorin virittäminen. Suomentaja Esko Mauno 2007. Helsinki: Alfamer Oy.

Enginelogics fuel pump sizing -artikkeli 2013. Luettu 13.10.2013
<http://www.enginelogics.com/fuel-pump-sizing/>

MegaManual injectors and fuel system -artikkeli 2013. Luettu 13.10.2013
<http://www.megamanual.com/v22manual/minj.htm>

How turbochargers work -artikkeli. Luettu 14.10.2013
<http://auto.howstuffworks.com/turbo2.htm>

Supra specs and information -artikkeli 2013. Luettu 14.10.2013
<http://mkiv.supras.org.nz/specs.htm>

SupraTT - sequential turbo operation -artikkeli. Luettu 14.10.2013
<http://www.max-boost.co.uk/max-boost/supra/turbo.htm>

Turbotekniikka. Viritysturbot -artikkeli. Luettu 23.11.2013
http://www.turbotekniikka.fi/index.php?option=com_content&view=article&id=174&Itemid=122

Supra TSRM -korjasmanuaali. Luettu 22.11.2013